

Approved For Release STAT  
2009/08/31 :  
CIA-RDP88-00904R000100130

Dec

Approved For Release  
2009/08/31 :  
CIA-RDP88-00904R000100130



Вторая Международная конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях

A/CONF/15/P/2235  
USSR  
ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

ИЗОТОПЫ  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  КАК ИСТОЧНИКИ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.В.Румянцев, Л.Н.Мацюк

Радиоактивные изотопы  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$ , обладающие сравнительно низкой энергией излучения, представляют большой интерес для дефектоскопии тонкостенных изделий. В докладе рассматриваются основные вопросы, связанные с применением этих изотопов для фоторадиографического метода контроля, имеющего широкое промышленное применение.

1. Источники  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$ , использованные в  
работе

Настоящие исследования выполнены с семью источниками  $Tu^{170}$  активностью от 98 до 31200 мкюри, при удельной активности 47 кюри/г. Источники получены в результате облучения в реакторе окиси тулия, завальцованной в ампулы из чистого алюминия марки АВООО с толщиной стенок 1 мм. Внутренний диаметр источника активностью 31200 мкюри составлял 7 мм, 7000 мкюри - 4 мм и всех остальных 3÷2 мм. Окись тулия содержала около 1% итербия.

$Tu^{170}$ , наряду с ядерным  $\gamma$ -излучением, испускает излучение, возникающее в результате торможения  $\beta$ -частиц в материале источника. Данные о спектральном составе излучения  $Tu^{170}$  приводятся в литературе (1,2,3,4,5).

Исследованные источники  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  приготовлены из препаратов, полученных экстракционным выделением из смеси продуктов деления, причем  $Eu^{155}$  в качестве примеси содержал  $Eu^{152}$  и  $Eu^{154}$ . Ампулы для этих источников были изготовлены из нержавеющей стали

25 YEAR RE-REVIEW

толщиной 0,15 мм. Получение препаратов  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  и результаты спектрометрических исследований их излучения подробно излагаются в докладе Н.Е.Брежневой и др.

В связи с малой энергией  $\gamma$ -лучей радиоактивные изотопы  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  как источники  $\gamma$ -лучей для дефектоскопии металлов характеризуются рядом отличительных особенностей.

Например, имеет место значительное поглощение излучения в самих источниках, вследствие чего спектральный состав излучения  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  а также интенсивность излучения в расчете на единицу активности (при постоянной удельной активности) зависят от величины активности источника. Так, для источника активностью 170 мкюри по создаваемой дозе  $\gamma$ -лучей 1 мкюри соответствует 0,014 мр-экв. радия, в то время как для источника активностью 32000 мкюри 1 мкюри соответствует только 0,0051 г-экв. радия (7). Аналогичное явление наблюдается и для  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$ . Поглощение излучения материалом источника в значительной степени снижает эффективность использования источников  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  высокой активности.

Излучение  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и в особенности  $\text{Ce}^{144}$  резко ослабляется малыми толщинами металлов (рис.1), что обуславливает хорошую выявляемость дефектов при просвечивании тонкостенных изделий. Линейные коэффициенты ослабления ( $\mu$ ) для излучения  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  уменьшаются с увеличением толщины поглощающего слоя. Это указывает на немонотонность излучения источников. При этом следует отметить, что эффективная энергия излучения  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  при постоянной удельной активности препаратов увеличивается с увеличением их активности вследствие увеличения количества тормозного излучения и степени фильтрации излучения в самом источнике. Поэтому ослабление излучения  $\text{TU}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  с увеличением активности источников уменьшается. Так, линейный коэффициент ослабления излучения  $\text{TU}^{170}$  при прохождении через сталь толщиной 0,5 мм для источника активностью 31200 мкюри равен  $5,13 \text{ см}^{-1}$ , а для источника активностью 7000 мкюри —  $7 \text{ см}^{-1}$ . Для стали толщиной 10 мм линейные коэффициенты ослабления излучения указанных источников соответственно равны  $1,5 \text{ см}^{-1}$  и  $1,96 \text{ см}^{-1}$ .

-3-

Отличительной особенностью изотопов  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  является малое значение ионизационной постоянной (доза в рентгенах, создаваемая излучением данного радиоактивного изотопа в час на расстоянии 1 см от источника активностью 1 мкюри). Особенно мала ионизационная постоянная  $Tu^{170}$ . Значение ионизационной постоянной, определенное экспериментально для исследованного препарата  $Tu^{170}$  составляет 0,12 р/час. мкюри см. По литературным данным (4,8,9) ионизационная постоянная  $Tu^{170}$  равна 0,033-0,045 р/час. мкюри см.

Различие в значениях ионизационной постоянной для  $Tu^{170}$  вызвано, видимо, тем, что в литературе приводятся расчетные данные без учета тормозного излучения.

Ионизационная постоянная  $Eu^{155}$  больше, чем  $Tu^{170}$ , что связано с значительно большим выходом  $\gamma$ -квантов при распаде изотопа. Значение ионизационной постоянной, определенное экспериментально для исследованного препарата  $Eu^{155}$  (0,65 р/час. мкюри. см), несколько превышает расчетное значение (10). Это происходит в результате наличия в препарате примеси  $Eu^{162,154}$ .

Ионизационная постоянная  $Ce^{144} \rightarrow Pr^{144}$  составляет 0,5 р/час. мкюри. см (10).

При фотографическом методе регистрации  $\gamma$ -лучей чувствительность пленок к излучению зависит от его спектрального состава. Особенно большое изменение чувствительности пленок имеет место при изменениях энергии излучения в области ниже 300-400 кэв.

Характеристические кривые для пленки рентген-Х при облучении  $\gamma$ -лучами различных радиоактивных изотопов приведены на рис. 2. Из приведенных экспериментальных данных видно, что одна и та же доза излучения различных радиоактивных изотопов в воздухе (в рентгенах) создает различную величину почернения пленки (различную ионизацию), причем для  $Tu^{170}$  и  $Eu^{155}$  наибольшую. Для получения одной и той же плотности почернения пленки, равной 1,5, при облучении  $\gamma$ -лучами  $Eu^{155}$  требуется в 4,5 раза меньшая доза излучения в воздухе (в рентгенах), чем при облучении  $\gamma$ -лучами  $Co^{60}$ , при облучении  $\gamma$ -лучами  $Tu^{170}$  - в 3,3 раза меньшая доза и при облучении  $\gamma$ -лучами  $Cs^{137}$  в 1,5 раза меньшая доза излучения, чем для  $Co^{60}$ .

Несмотря на то, что чувствительность пленок к  $\gamma$ -лучам  $Eu^{155}$  и  $Tu^{170}$  больше, чем к  $\gamma$ -лучам других радиоактивных изотопов, почернение пленки от излучения  $Tu^{170}$  и  $Eu^{155}$  в расчете на 1 мкюри препарата значительно меньше, чем при облучении пленок  $\gamma$ -лучами  $Co^{60}$ ,  $Cs^{137}$  и  $Ir^{192}$ .

-4-

В связи с указанным, а также учитывая значительное ослабление излучения  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  при прохождении через металлы для получения высокой производительности фоторадиографического метода контроля необходимо применять источники  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  высокой активности, порядка десятков и даже сотен (в случае  $Tu^{170}$ ) кюри.

## II. Выявляемость дефектов при просвечивании металлов излучением $Tu^{170}$ , $Eu^{155}$ и $Ce^{144}$

На рис. 3, 4, 5 и 6 приведены сравнительные данные по выявляемости дефектов при просвечивании стали, титановых, алюминиевых и магниевых сплавов  $\gamma$ -лучами различных радиоактивных изотопов. Из приведенных экспериментальных данных следует, что при просвечивании  $\gamma$ -лучами  $Tu^{170}$  и  $Eu^{155}$  стали толщиной до 15-20 мм, титановых сплавов толщиной до 30-40 мм, алюминиевых сплавов толщиной до 50-60 мм, а также магниевых сплавов чувствительность метода в 2-4 раза выше, чем при использовании  $Ir^{192}$ ,  $Cs^{137}$  и  $Co^{60}$ . Причем выявляемость дефектов при использовании  $Eu^{155}$  и  $Tu^{170}$  примерно одинакова, в связи с чем эти препараты можно считать практически взаимозаменяемыми.

Значительный интерес представляет для целей дефектоскопии малых толщин  $Ce^{144}$ . При просвечивании излучением  $Ce^{144}$  стали толщиной от 0,5 до 2-3 мм, титана толщиной от 0,5 до 4-5 мм, алюминиевых сплавов толщиной от 1 до 8-10 мм и магниевых сплавов толщиной от 1 до 15 мм чувствительность выше, чем при просвечивании тех же материалов  $\gamma$ -лучами  $Eu^{155}$  и  $Tu^{170}$ .

Однако область применения  $Ce^{144}$  ограничена малыми толщинами. Для контроля металлов больших толщин, чем указаны выше,  $Ce^{144}$  не представляет практического интереса, так как выявляемость дефектов, достигаемая при его использовании, ниже, чем при просвечивании  $\gamma$ -лучами  $Eu^{155}$  и  $Tu^{170}$ .

Данные по чувствительности метода хорошо согласуются с приведенными выше данными по ослаблению  $\gamma$ -лучей  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  при прохождении через сталь (рис. 1).

Проведенные эксперименты показали, что для препаратов применявшихся размеров выявляемость дефектов при просвечивании металлов

-3-

$\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  незначительно зависит от фокусного расстояния в интервале от 25 до 100 см. Применение малых фокусных расстояний представляет большой практический интерес, так как позволяет в значительной степени сократить экспозиции при просвечивании.

При использовании  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  данной удельной активности выявляемость дефектов ухудшается с увеличением активности источников, вследствие увеличения размеров источников и изменения спектрального состава излучения. Влияние величины активности источника на выявляемость дефектов при просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  иллюстрируется графиком, приведенным на рис.7, который показывает, что при использовании источника активностью 31200 мкюри (160 мг-экв.радия) дефекты выявляются несколько хуже, чем при использовании источников меньшей активности. Для того, чтобы получить с источниками  $\text{Pu}^{170}$  активностью 1-3 г-экв.радия чувствительность метода, достигаемую при использовании малоактивных источников, нужно повысить удельную активность до 200-250 кюри/грамм. При существующей удельной активности ухудшение выявляемости дефектов снижает ценность использования источников  $\text{Pu}^{170}$  высокой активности. Аналогичное положение имеет место и для  $\text{Eu}^{155}$ , однако в связи с значительно большей ионизационной постоянной этого изотопа требуемая величина удельной активности оказывается меньшей.

### III. Экспозиции

При просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами радиоактивных изотопов экспозиции принято выражать в кюри  $x$  час или г-экв.радия  $x$  час.

Для радиоактивных изотопов  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  в результате поглощения излучения материалом источника и наличия тормозного излучения, доза, создаваемая 1 кюри, величина непостоянная и, как указывалось выше, при постоянной удельной активности уменьшается с увеличением активности источников. В связи с этим при просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  экспозиции

удобнее выражать в г-кв.радия  $x$  час. Если на графиках экспозиций для  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  продолжительность экспозиции выражена в кюри  $x$  час, то пользоваться последними для определения времени просвечивания можно только в том случае, когда малы геометрические размеры источников, т.е. когда поглощение излучения в самом источнике практически отсутствует.

-6-

На рис. 8, 9 приведены графики экспозиций для просвечивания стали и дюралюминия  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Ir}^{192}$  и  $\text{Cs}^{137}$ . Из приведенных графиков видно, что кривые экспозиций для просвечивания металлов  $\gamma$ -лучами различных радиоактивных изотопов имеют различный наклон. При этом специфической особенностью кривых экспозиций для просвечивания металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  и  $\text{Eu}^{155}$  является изгиб кривых (резкий рост экспозиций) при сравнительно малых толщинах металлов. Особенно сильный изгиб кривых наблюдается при просвечивании стали (рис. 8). Различный наклон и изгиб кривых экспозиций при просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Ir}^{192}$  и  $\text{Cs}^{137}$  имеет место в результате различного спектрального состава излучения изотопов, различной степени ослабления интенсивности (фильтрации) их излучения просвечиваемыми металлами и зависимости чувствительности пленки от энергии падающего на нее излучения. Действительно, при облучении чистой пленки, а также при просвечивании малых толщин металлов (в особенности легких сплавов) для изотопов, содержащих в спектре  $\gamma$ -излучения мягкие компоненты, требуются меньшие экспозиции за счет большей чувствительности пленки к мягкому  $\gamma$ -излучению. Несколько большие экспозиции при облучении чистой пленки и просвечивании малых толщин металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  по сравнению с  $\text{Ir}^{192}$  следует отнести, по-видимому, за счет ослабления излучения  $\text{Pu}^{170}$  свинцовой фольгой толщиной 0,05 мм, применяемой при проведении настоящих экспериментов.

С увеличением толщины и плотности просвечиваемого металла интенсивность излучения, попадающего на пленку, уменьшается тем больше, чем больше содержание мягких компонент в спектре  $\gamma$ -излучения. Изменяется также спектральный состав излучения, фильтруемого объектом, а следовательно, и чувствительность пленки к излучению. В связи с указанным продолжительность экспозиции с увеличением толщины и плотности просвечиваемых металлов возрастает более резко для изотопов с мягким  $\gamma$ -излучением. Кривые экспозиций для просвечивания металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  и  $\text{Eu}^{155}$  имеют примерно одинаковый наклон. Однако при просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  требуются большие экспозиции, чем для  $\text{Eu}^{155}$ , в результате меньшей чувствительности пленки к излучению  $\text{Pu}^{170}$ .

Сокращение экспозиций при просвечивании металлов  $\gamma$ -лучами  $\text{Pu}^{170}$  и  $\text{Eu}^{155}$  может быть достигнуто применением источников активностью 1-3 г-экв. радия. Источники указанной активности с малыми



-7-

геометрическими размерами могут быть получены при удельной активности, равной для  $\text{Pu}^{140}$  200-250 кюри/грамм, для  $\text{Eu}^{155}$  10-20 кюри/г.

В связи с этим изготовление источников  $\text{Eu}^{155}$  активностью 1-3 г-экв. радия при малых геометрических размерах значительно проще чем изготовление источников  $\text{Pu}^{140}$ , в особенности принимая во внимание возможность получения  $\text{Eu}^{155}$  без носителя.

Длительность экспозиций при просвечивании металлов излучением  $\text{Pu}^{140}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  в сравнении с другими радиоактивными изотопами ( $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  и  $\text{Ir}^{192}$ ) и трудность изготовления источников высокой активности с хорошими дефектоскопическими свойствами (например, тулиевых источников) в значительной степени ограничивают область применения  $\text{Pu}^{140}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  в отношении толщин просвечиваемых металлов. Наиболее удобным из рассмотренных изотопов является  $\text{Eu}^{155}$ .

Значительное сокращение экспозиций при просвечивании металлов излучением  $\text{Pu}^{140}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Ce}^{144}$  достигается применением свинцовых фольг и флуоресцирующих экранов (см. таблицу).

Таблица

Способ зарядки кассет	Поправочные коэффициенты для пленок	
	Рентген-Х	Рентген-XX
Пленка без фольг и экранов	2	I
Пленка между двумя свинцовыми фольгами толщиной 0,05 мм	I	0,5
Пленка между свинцовыми фольгами толщиной: передняя - 0,02 мм, задняя - 0,05 мм	0,95	0,5
Пленка между двумя флуоресцирующими (вольфрамитными) экранами с нагрузкой светящегося слоя 40/120 кг/см <sup>2</sup>	0,33	0,4

Примечание. Поправочный коэффициент характеризует относительную величину экспозиции при использовании различных способов зарядки кассет.

N 2235



-8-

#### IV. Область применения $Tu^{170}$ , $Eu^{155}$ и $Ce^{144}$ для целей дефектоскопии

Проведенные лабораторные исследования дефектоскопических свойств  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  и контроль качества промышленных объектов позволяют рекомендовать  $Tu^{170}$  и  $Eu^{155}$  для контроля:

- а) сварных соединений и литья, а также деталей с эксплуатационными дефектами (коррозия и пр.) из стали толщиной от 1 до 15 мм;
- б) сварных соединений и литья из титановых сплавов толщиной от 2 до 30 мм;
- в) сварных соединений и литья из алюминиевых сплавов толщиной от 3 до 50 мм;
- г) толстостенного литья из магниевых сплавов;
- д) агрегатов с целью выявления внутренних неисправностей деталей, нарушения правильности взаимного расположения деталей и т.д.

$Ce^{144}$  может применяться для контроля:

- а) сварных соединений и литья из стали толщиной от 0,5 до 2 мм;
- б) изделий из титановых сплавов толщиной от 0,5 до 4-5 мм;
- в) изделий из алюминиевых сплавов толщиной от 1 до 8-10 мм;
- г) изделий из магниевых сплавов толщиной от 1 до 15 мм.

Ниже приводятся фотографии  $\gamma$ -снимков с характерными дефектами литья (рис. 10), сварки (рис. 11), пайки (рис. 12) и эксплуатационными дефектами (рис. 13, 14).

Область применения  $Tu^{170}$  и  $Eu^{155}$  в сочетании с другими радиоактивными изотопами, ранее исследованными авторами, приведена в литературе (10).

Экспериментальные исследования и работы по просвечиванию всевозможных производственных объектов как в цеховых, так и полевых условиях производились с помощью портативной переносной установки для радиографического контроля (рис. 15, 16).

В комплект установки входит: 1 - контейнер-манипулятор; 2 - штатив; 3 - пульт управления; 4 - реле времени; 5 - экспанометр; 6 - чемодан для транспортировки, он же служит основанием для установки и столиком для просвечивания деталей.

Установка предназначена для просвечивания направленным пучком  $\gamma$ -лучей и для кругового (панорамного) просвечивания одновременно нескольких деталей или цилиндрических изделий, причем она может применяться как в цеховых, так и в полевых условиях.

-9-

## Л и т е р а т у р а

1. Дзелепов Б.С. и Шекер Л.К. Схемы распада радиоактивных изотопов. Изд. АН СССР, 1957
2. Carlström M.C.G. Progres techniques et aspects economiques de la radiographie par les rayons gamma. Fonderie, 1954, 97, 3791.
3. Untermeyer S., Spedding F., Daane A., Powell J., and Hasterlik R. Portalle thulium X-ray unit. Nucleonics, 1954, 12, (5), 35
4. Halmshaw R. Thulium 170 for industrial radiography. Brit. J. Appl. Phys. 1955, 6 (1), 8.
5. Liden K. and Starfeld N.; Halmshaw R. Thulium 170 for industrial radiography. Brit. J. Appl. Phys., 1955, 6 (7), 262.
6. Брежнева Н.Е., Левин В.И., Корпусов Г.В., Манько Н.М. Выделение осколочных радиоактивных элементов. Доклад на 2-й Международной Конференции в Женеве (1958)
7. Румянцев С.В. и Мацюк Л.Н. Тулий-170 как источник излучения для  $\gamma$ -дефектоскопии. Филиал ВИНТИ АН СССР (1958)
8. Schorr M.G. Selection of Sources for Radiographic Use Nondestructive testing, 1955, 13, 6, 2
9. West R. Low Energy Gamma-ray Sources. Nucleonics, 1953, 11, (2), 20
10. Румянцев С.В. Применение радиоактивного кобальта, цезия, иридия, европия и тулия для дефектоскопии. Филиал ВИНТИ АН СССР (1957)

-10-

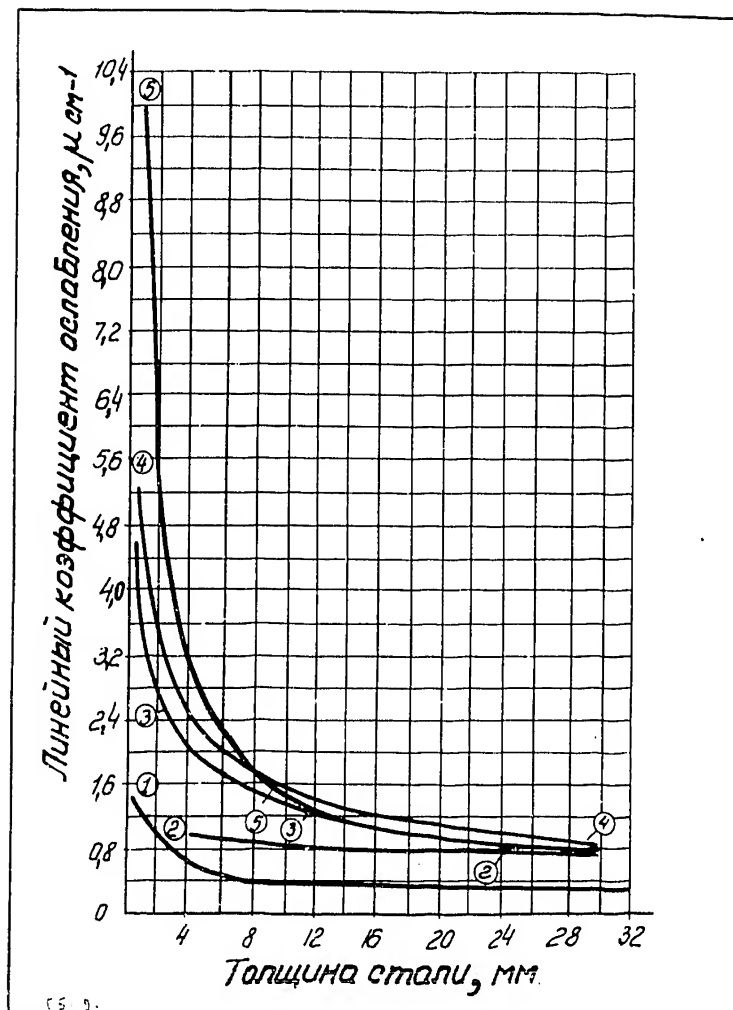


Рис. 1. Изменение линейного коэффициента ослабления широкого пучка излучения  $\text{Eu}^{152,154}$ ,  $\text{Tl}^{192}$ ,  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Ce}^{144}$  и  $\text{Pu}^{170}$  в зависимости от толщины стали:

1- $\text{Eu}^{152,154}$ ; 2- $\text{Tl}^{192}$ ; 3- $\text{Eu}^{155}$ ; 4- $\text{Pu}^{170}$ ; 5- $\text{Ce}^{144}$

-II-

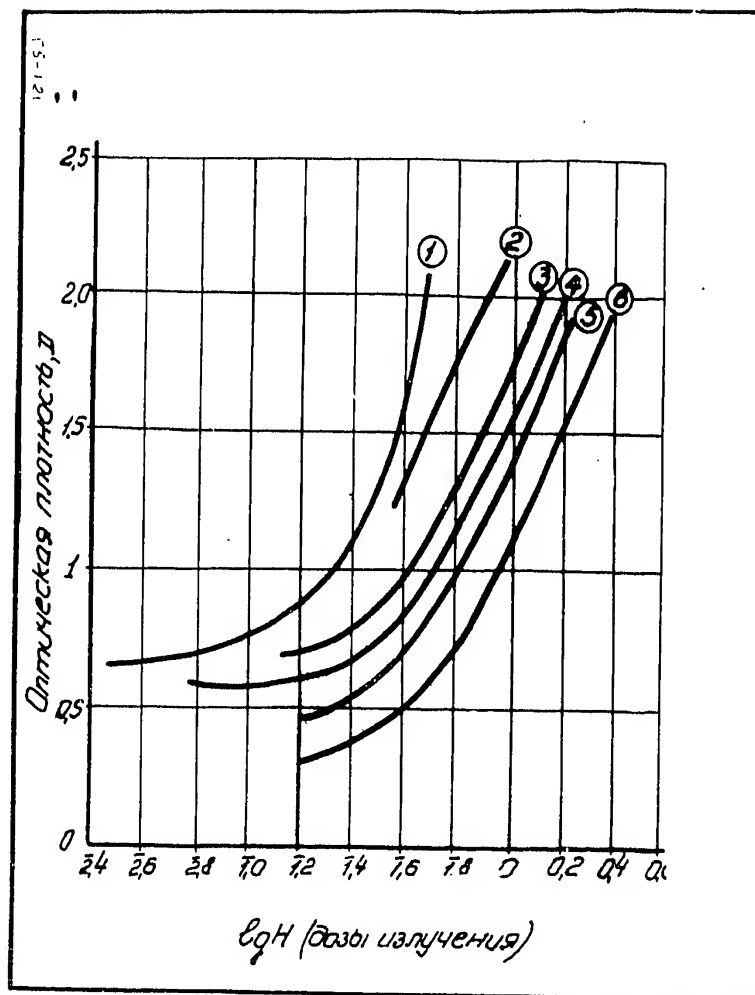


Рис. 2. Характеристические кривые для пленки рентген-Х при облучении  $\gamma$ -лучами:

1-Eu<sup>155</sup>; 2-Pu<sup>170</sup>; 3-Li<sup>192</sup>; 4-Eu<sup>152,154</sup>;  
5-Cs<sup>137</sup>; 6-Co<sup>60</sup>

-12-

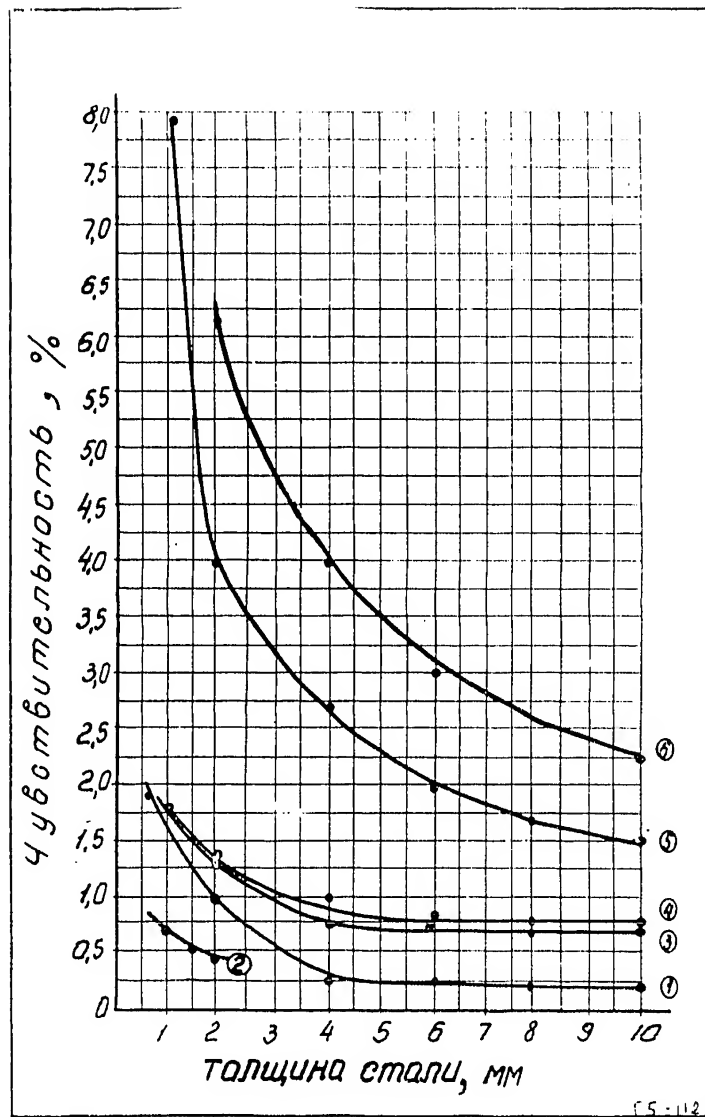


Рис.3. Чувствительность при просвечивании  
 стали  $\gamma$ -лучами  $\text{Ce}^{144}$ ,  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Ir}^{192}$ ,  $\text{Cs}^{137}$   
 и X-лучами ( $F = 25$  см, пленка рент-  
 ген-Х,  $D = 1,5-1,8$ ): 1-X-лучи, 100 кВ;  
 2- $\text{Ce}^{144}$ ; 3- $\text{Pu}^{170}$ ; 4- $\text{Eu}^{155}$ ; 5- $\text{Ir}^{192}$ ; 6- $\text{Cs}^{137}$

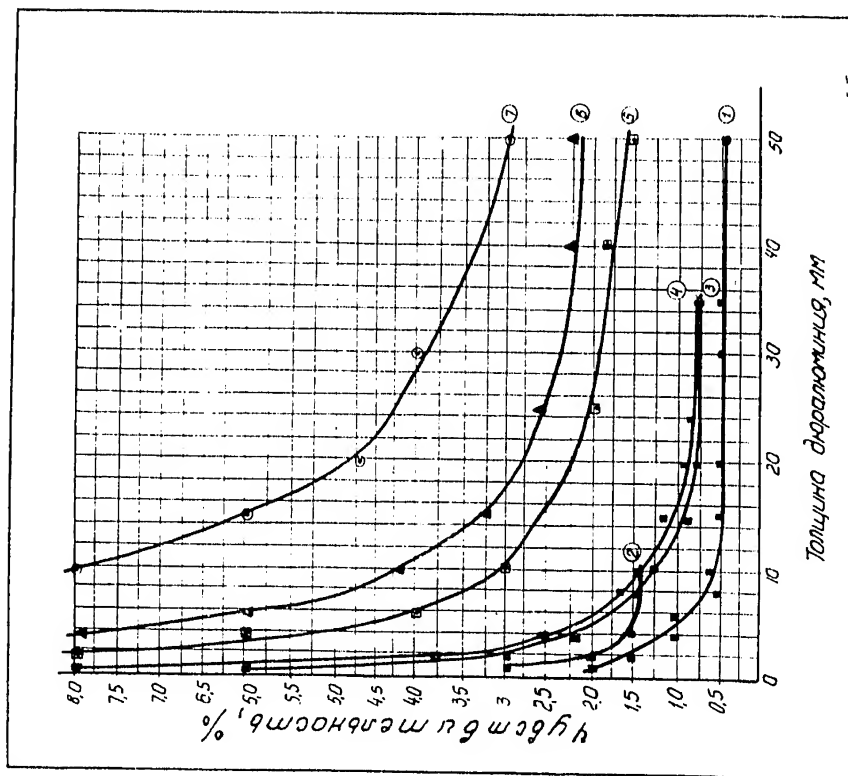


Рис. 5. Чувствительность при просвечивании алюминиевых сплавов  $\gamma$ -лучами  $\text{Ce}^{144}$ ,  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Ir}^{192}$ ,  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$  и X-лучами ( $D = 50$  см, пленка рентген-Х,  $D = 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50$  см, напряжение от 50 до 100 кВ; 2- $\text{Ce}^{144}$ ; 3- $\text{Pu}^{170}$ ; 4- $\text{Eu}^{155}$ ; 5- $\text{Ir}^{192}$ ; 6- $\text{Cs}^{137}$ ; 7- $\text{Co}^{60}$ ).

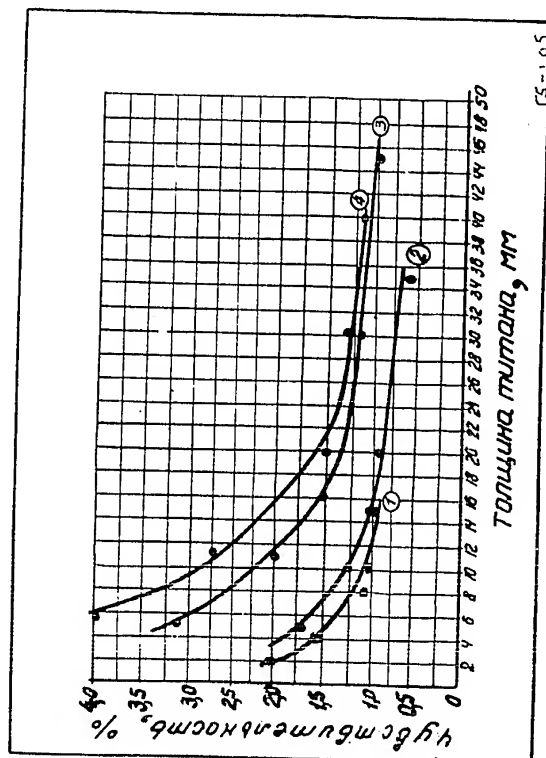


Рис. 4. Чувствительность при просвечивании титановых сплавов  $\gamma$ -лучами  $\text{Eu}^{155}$ ,  $\text{Pu}^{170}$ ,  $\text{Ir}^{192}$  и  $\text{Cs}^{137}$  ( $D = 50$  см, пленка рентген-Х,  $D = 1, 5, 10, 15$  см; 1- $\text{Eu}^{155}$ ; 2- $\text{Pu}^{170}$ ; 3- $\text{Ir}^{192}$ ; 4- $\text{Cs}^{137}$ ).

--14--

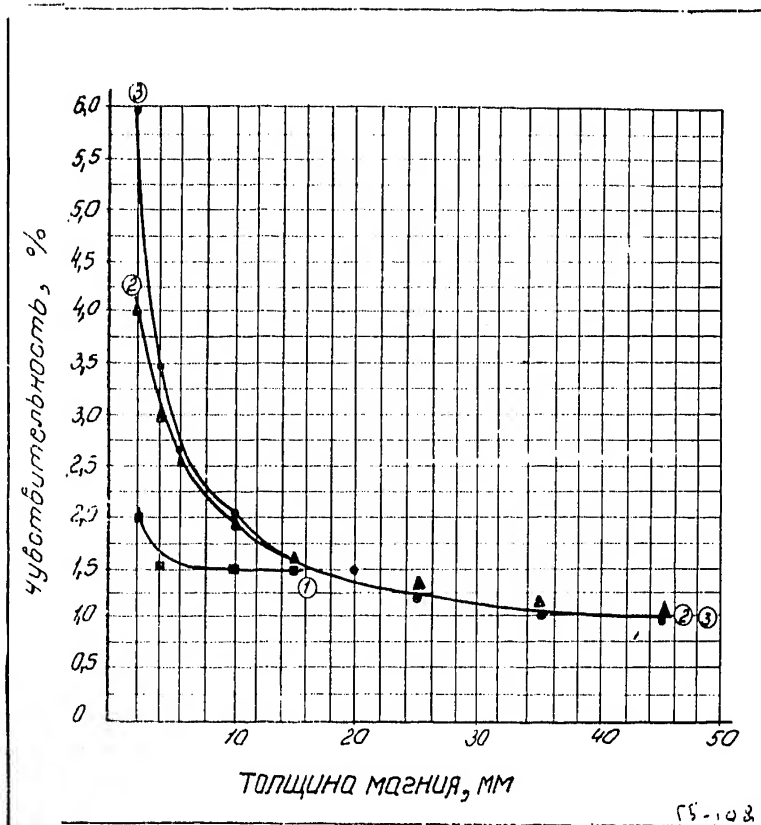


Рис. 6. Чувствительность при просвечивании маг-  
 ниевых сплавов  $\gamma$ -лучами  $\text{Ce}^{144}$ ,  $\text{Eu}^{155}$  и  $\text{Pu}^{170}$   
 ( $F=50$  см, пленка рентген-Х,  $D=1,5-1,8$ ): 1 -  $\text{Ce}^{144}$ ; 2 -  $\text{Eu}^{155}$ ; 3 -  $\text{Pu}^{170}$ .



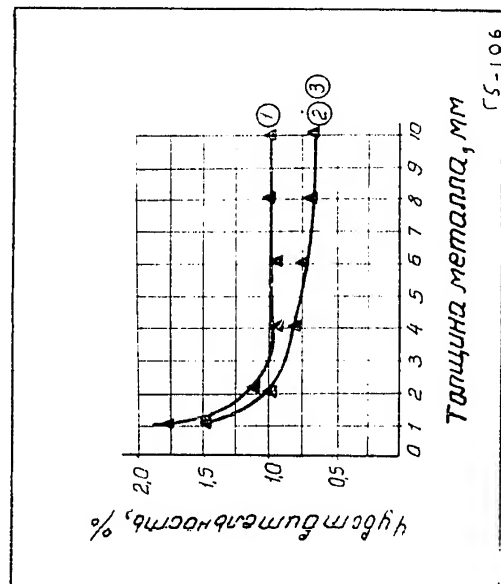


Рис. 7. Влияние активности источников на чувствительность при просвечивании стали  $\gamma$ -лучами  $^{60}\text{Co}$ : 1-31200 мкюри, фокусное пятно 0,48 см<sup>2</sup>; 2-1600 мкюри, фокусное пятно 0,063 см<sup>2</sup>; 3-760 мкюри, фокусное пятно 0,0325 см<sup>2</sup>

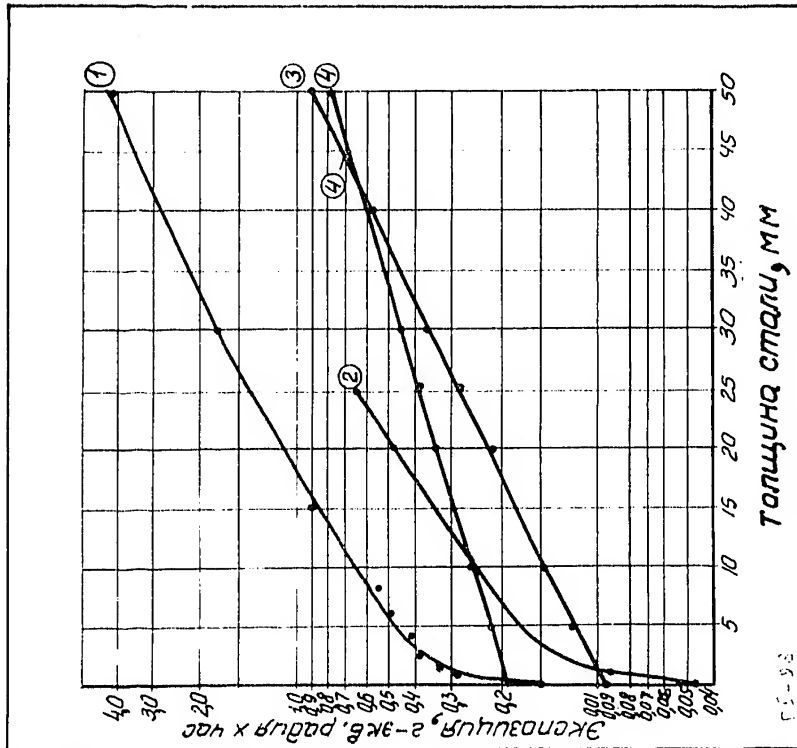


Рис. 8. График экспозиций для просвечивания стали  $\gamma$ -лучами  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{192}\text{Ir}$  ( $F=50$  см, пленка рентген-Х,  $D=1,5$ ): 1- $^{60}\text{Co}$ , свинцовые фольги толщиной 0,05/0,05 мм; 2- $^{137}\text{Cs}$  свинцовые фольги толщиной 0,05/0,05 мм; 3- $^{192}\text{Ir}$  свинцовые фольги толщиной 0,1/0,2 мм; 4- $^{137}\text{Cs}$  свинцовые фольги толщиной 0,1/0,2 мм; 5- $^{192}\text{Ir}$  свинцовые фольги толщиной 0,1/0,2 мм

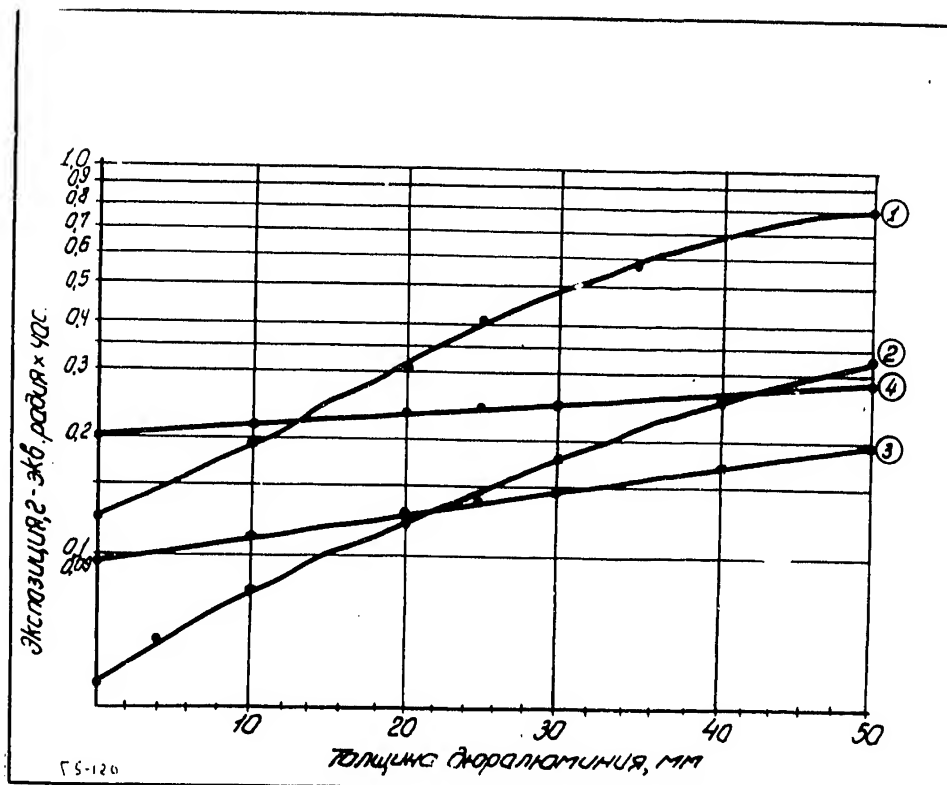


Рис. 9. График экспозиций для просвечивания дюралюминия  $\gamma$ -лучами  $^{170}\text{Tl}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{192}\text{Ir}$  ( $F=50$  см, пленка рентген-Х,  $D=1,5$ ):

1- $^{170}\text{Tl}$	свинцовые фольги толщиной	0,05/0,05 мм
2- $^{155}\text{Eu}$	"	0,05/0,05 мм
3- $^{192}\text{Ir}$	"	0,1/0,2 мм
4- $^{137}\text{Cs}$	"	0,1/0,2 мм

-17-



Рис. IО.  $\gamma$  -Снимок участка стальной литой детали толщиной 5 мм. Тулий-170. По снимку выявлены рыхлоты, раковины, включения



а



б

Рис. II.  $\gamma$  -Снимки сварных швов из стали, толщина металла с усилением шва 4 мм. Европий-155. По снимкам выявлены трещины (а) и сплошная сетка пор и включений (б)

-18-

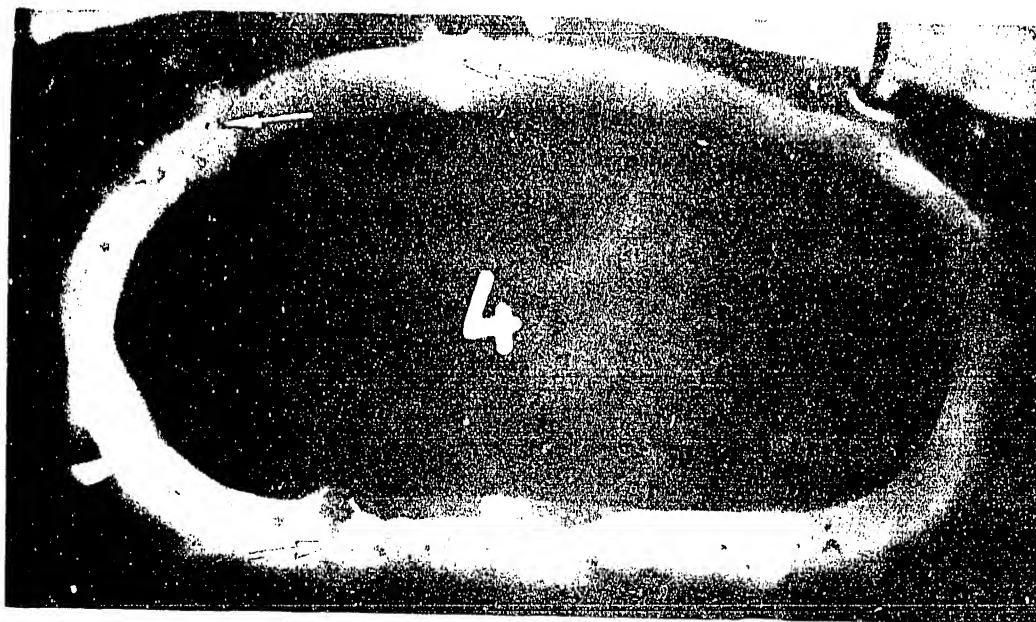


Рис.12.  $\gamma$ -Снимок паяного шва трубы из стали толщиной 3 мм. Европий-155. По снимку выявлены непрой и трещина



Рис.13.  $\gamma$ -Снимок цилиндра из стали толщиной 2 мм. Тулий-170. По снимку выявлена точечная коррозия

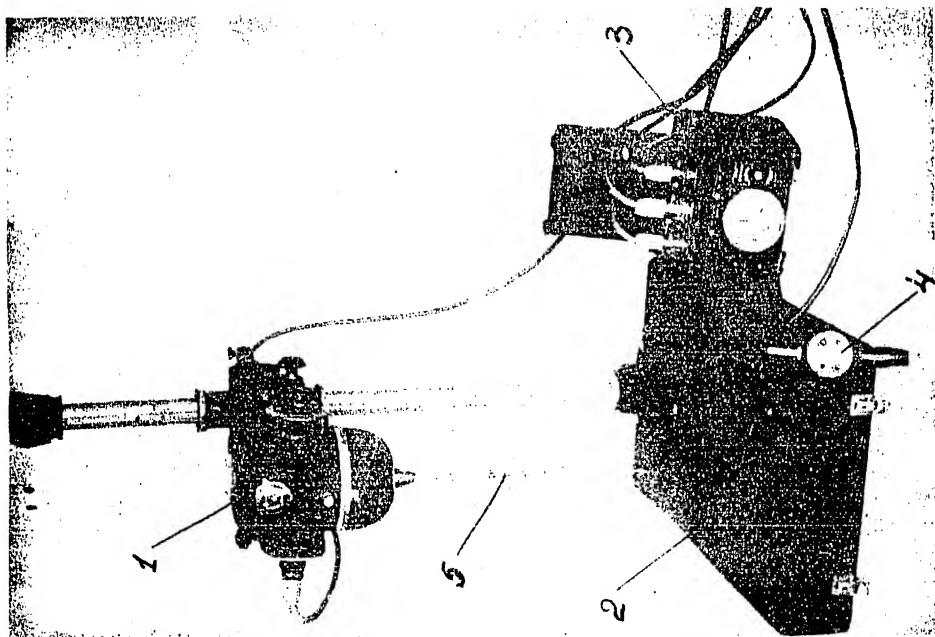


Рис.15. Портативная переносная установка для радиографического контроля (ШУРК-1): 1- контейнер-манипулятор; 2-чемодан для транспортировки установки, он же служит столиком для просвечивания деталей; 3- реле времени; 4-пульт управления; 5-съемный центратор

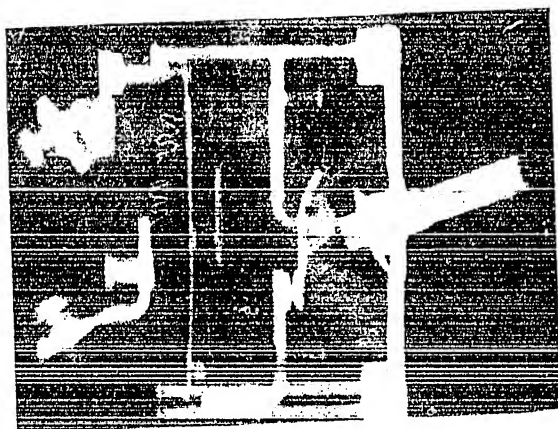


Рис.14. Щ-Снимок переключателя. Тулий-170. По снимку выявлен обрыв токоподводящего провода

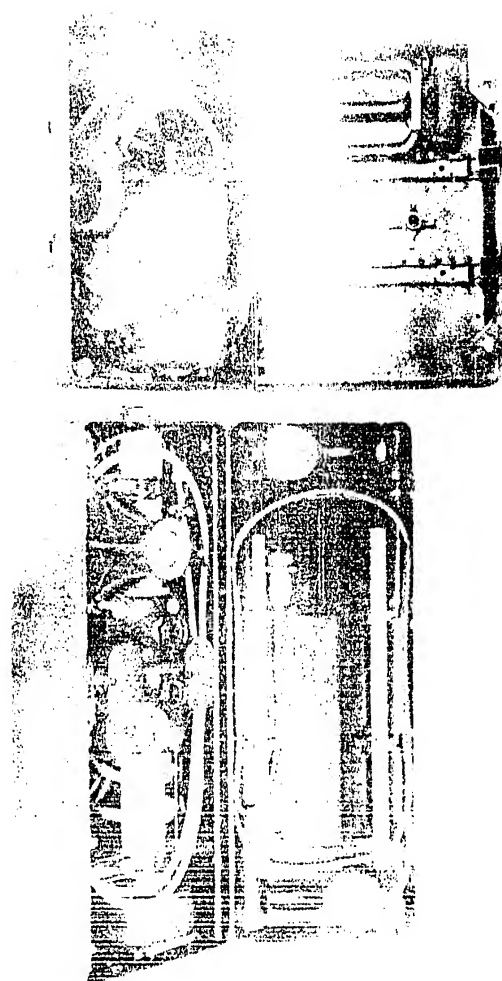


Рис.16. Портативная переносная установка для радиографического контроля (ППУРК-1) в разобранном виде в транспортировочных чемоданах